

密云土门流域出口氮磷污染分析^{*}

张 燕, 张志强, 谢宝元, 张俊卿, 唐 寅, 王 利, 刘 恩

(北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 为了满足水污染控制规划和流域水资源保护的需要, 在土门西沟出口对径流量、径流水质进行同步监测, 结合以前的监测资料, 对径流量与污染负荷之间的关系进行分析。结果显示: 流域内水质氮磷含量超标, 特别是氮远远高于 V 类水, 总磷在 III 类水标准以内, 流域的非点源氮磷源已成为流域主要污染物; 径流量和污染负荷有很好的相关性, 其中总磷与地表径流量相关性最高, 总氮与地表径流量相关性比较差, 氨氮是氮源污染的主要形态, 而且氨氮容易挥发和转化; 这与当地居民使用氮肥和二铵有关; 总氮与氨氮的相关关系较好, 和硝态氮相关系数较小; 控制污染物的排放和减小暴雨径流是有效治理非点源污染措施。

关键词: 土门西沟; 小流域; 氮磷污染; 水资源保护

中图分类号: X52

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)04-0094-04

Nitrogen and Phosphorus Pollution Analysis in a Small Watershed Outlet of Tumenxigou

ZHANG Yan, ZHANG Zhi-qiang, XIE Bao-yuan, ZHANG Jun-qing, TANG Yin, WANG Li, LIU En

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: For meeting the needs of the water resources protection and the water pollution control planning, this paper makes the analysis of relationship between runoff and pollution load of Tumenxigou outlet. Main results are as follows: the content of Nitrogen and Phosphorus exceed standard, especially nitrogen content is much more than class V, Phosphorus content is less than Class III, Nitrogen and Phosphorus is the main pollution. The runoff have a good relationship with pollution load, correlation coefficient between runoff and phosphorus is most well. The Nitrogen has the bad relation with runoff. Ammonia and Nitrogen are the main existent feature in nitrogen sources pollution, which has relation with the local nitrogenous fertilizer and diammonium. Nitrogen has good relation with Ammonia and Nitrogen, bad relation with nitrate nitrogen. Pollution emission controlling and rainstorm surface runoff decreasing are the effective measures.

Key words: Tumenxigou; small valley; nitrogen and phosphorus pollution; water resources protection

密云水库是北京唯一的地表饮水水源, 目前库区水体的营养程度为中营养型, 并出现向富营养型发展的特征^[1-2]。土门流域地处密云水库东岸水源保护林二级保护区内, 氮磷是造成流域非点源污染的主要原因。对密云土门流域出口氮磷污染开展研究, 揭示氮磷污染特征, 分析降水量和地表径流量与氮磷污染负荷的相关关系以及不同形态氮对河水氮污染的贡献, 为流域水质管理提供依据。

1 小流域概况

土门流域位于北京市密云县北庄乡, 地处密云水库东岸水源保护林二级保护区内, 北纬 40°40′、东经 116°20′, 包括西沟、果家沟、陈家沟三条小沟, 流域面积 3.394 km², 整体

轮廓呈圆叶封闭形。地貌为低山丘陵类型, 海拔高度 242~781.4 m, 地形陡峻。在海拔 400 m 以上多为白云岩, 其它部分为片麻岩、花岗岩。土壤以山地淋溶褐土为主, 坡地土质为壤质和石砾质, 沟谷阶地则为壤质和沙质土。

流域属暖温带大陆性季风气候区, 区内多年平均降水量为 660 mm。年降水变幅大, 最大降雨为 1406 mm (1959 年), 最小为 242 mm (1869 年), 而且降水年内分配极不均匀, 全年降水量 80%~85% 集中在汛期 (6~9 月)。

2 实验方法

土门西沟流域出口设置复合型断面测流槽, 测流槽配备了 WGS- I 型光电数字水位计和 JD- I 型数字雨量计, 分别

^{*} 收稿日期: 2008-03-10

基金项目: 北京市科委重点项目“密云水库流域水土流失综合防治体系及示范推广研究”; 国家十五科技支撑计划“北京密云水库库区水源涵养林构建技术试验示范” (2006BAD03A1801)

作者简介: 张燕 (1981-), 女, 云南宣威人, 硕士。研究方向: 自然资源与环境。E-mail: zy560@163.com

通信作者: 张志强 (1967-), 男, 博士, 教授, 主要方向: 森林水文和森林生态 E-mail: zhiqiangzh@bifu.edu.cn

记录地表径流的产流过程和降雨过程。根据国家环保局编写的《水和废水监测分析方法(第四版)》要求进行取样、运输、化验。分析的指标主要有总氮用碱性过硫酸钾氧化——紫外分光光度法,总磷用孔雀绿-磷钼杂多酸分光光度法,硝酸盐氮用酚二磺酸光度法,氨氮用水杨酸-次氯酸盐光度法,亚硝酸盐氮用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法。

3 结果与分析

3.1 氮磷流失机理

总氮包括氨氮、硝态氮、亚硝态氮 3 种形式。其中氨氮在一定作用下,转化为亚硝态氮和硝态氮,土壤中阴离子和胶体对带负电的亚硝态氮和硝态氮吸附甚微,易被雨水或灌溉水淋洗进入地下水或通过径流等汇入地表水,对水体造成污染,土壤颗粒和土壤胶体对氨氮具有很强的吸附作用,使得大部分可交换态氮得以保存在土壤中,但是土壤对氨氮达到饱和时,还是被入渗水流和地表径流淋失出土体。

自然存在的磷化合物都具有很低的溶解度和挥发性。磷在自然界或生物体中几乎完全以无机磷酸盐或含 PO_4^{3-} 有机形态存在。水体中磷主要有溶解态和非溶解态的颗粒态磷,颗粒态磷与泥沙紧密结合,其中非溶解态磷(包括有机和无机)大多存在于细菌或动植物残骸的碎屑中,溶解态磷

中的正磷酸盐大部分可作为营养物质和少部分颗粒态磷被水中藻类多量摄取

3.2 地表径流量和氮磷负荷监测情况

土门流域 2004 年、2005 年、2006 年平均降雨量分别是 893.50, 1 284.50, 404.50 mm, 平均降雨强度为 20.65, 3.8, 24.64 mm/h, 2005 年小雨居多。2006 年大暴雨占较大比例, 2005 年居中。虽然降雨量不小,但产生地表径流时间却很短,主要是因为流域内降雨集中,产流就集中在几场降雨,其次流域内气候比较干旱,多年平均蒸发量明显大于降雨量。2003 年蒸发量大于降雨量,蒸发量为 1 054.3 mm,而降雨量只有 651.6 mm。第三是表层土壤粒径组成主要是粗砂砾和细砂砾,团粒结构比较少,在流域里均匀的取 32 个土样,表层土中粗砂砾和细砂砾所占的比例在 40.94%~92.49%,平均值为 72.59%。2006 年 7-9 月雨季出现间歇产流的情况,整个流域里有的地块出现地表无径流情况,因此水质监测也受到影响,无降雨时,流域出口的水大部分是流域基流,因此只选择 3 场特殊的降雨进行监测,综合往年的监测结果进行分析。总磷大部分都在 II 类水质标准内,只有 2005 年数据达到了 III 类标准,总氮都在 V 类水的标准以上,亚硝态氮和硝态氮在 I 类水的标准以内,总氮超标严重。总磷和总氮都超出了生活饮用水地表水源地二级保护区标准。

表 1 地表径流量和氮磷负荷的监测结果

测定时间	降雨量/ (mm · d ⁻¹)	流量/ (cm ³ · s ⁻¹)	总磷/ (mg · L ⁻¹)	总氮/ (mg · L ⁻¹)	亚硝酸盐氮/ (mg · L ⁻¹)	硝酸盐氮/ (mg · L ⁻¹)	氨 氮/ (mg · L ⁻¹)
2004 08 02	22.50	3368.72	0.03	9.64	0.01	6.35	0.22
2004 09 01	18.60	13507.24	0.06	7.80	0.01	7.07	0.20
2005 08 15	29.70	59911.44	0.17	5.27	0.01	0.58	0.45
2006 08 19	38.80	21455.47	0.09	3.35	0.01	8.11	0.01
2006 08 28	9.70	6890.16	0.04	3.16	0.03	8.31	0.06
2006 08 29	11.00	7882.42	0.05	3.06	0.01	7.43	0.07

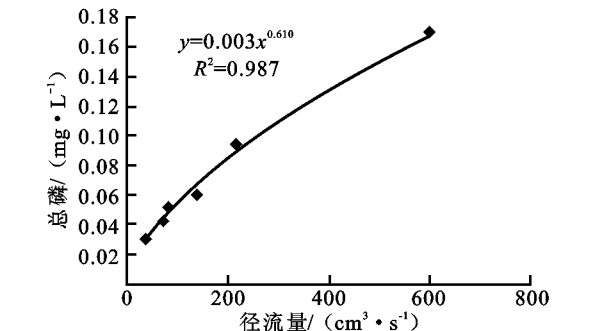


图 1 总磷监测值与径流量的关系

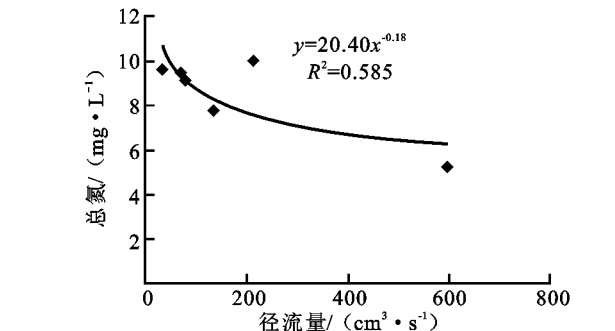


图 2 总氮监测值与径流量的关系

3.3 地表径流量与氮负荷相关分析及关系式的确立

总氮与地表径流量相关系数比较小,相关系数为 0.59 (见图 2),总氮与硝酸盐氮相关系数为 0.68 (见图 3)。因为总氮的主要成分是可溶性氮,其迁移到暴雨中的方式主要是靠雨水的浸泡溶解,而且水中的氨氮容易挥发^[3],氨氮在反硝化细菌及硝化细菌作用下,先氧化为亚硝态氮,亚硝态氮不稳定,最后转化为稳定的硝态氮,氨氮的转化受到水温和时间的影响,夏季水温高,氨氮在水中微生物作用下迅速转化,使得水体中的氮基本以硝态氮形式存在。亚硝酸盐氮是消化和反硝化的中间产物,在地表径流中含量很少^[4]。总氮

与氨氮相关系数达到 71.47% (见图 4),总氮受氨氮的影响比较大,氨氮是决定流域非点源氮污染的主要形态,这跟该地区居民主要使用氮肥和二铵有很大的关系。总氮与硝态氮相关系数达到 68.06%。亚硝态氮的含量比较稳定,数值比较小,相关关系不明显。

3.4 地表径流量与磷负荷相关分析及关系式的确立

通过监测日降雨量、地表径流量和总磷,发现降雨量与总磷关系不明显,主要是降雨经过植物截流、填洼、下渗和蒸发等损失后,只有少部分形成地表径流,每年的降雨前期土壤湿度、气象等条件都不一样,所以产流和汇流都不一样。

地表径流量与总磷有很好的相关关系, 相关系数达 0.99(见图 1), 这是由于磷在自然界的存在形态主要是磷酸盐钙等不溶于水的化合物, 比较稳定, 在降雨径流的冲刷作用下, 吸附固态磷的细小颗粒进入径流, 构成了径流中总磷的主要成分^[3]。径流量与污染物含量有着一定相关关系, 其中磷的相关系数比较高, 这与高超在研究土壤磷素水平与径流中磷含

量的关系时发现, 与常规的土壤磷素测定方法相比, 易解吸磷 RDP 与径流中的磷含量相关性最好, 且不受降雨强度、坡度和季节变化等因素的影响结论一致^[4], 洪小康^[5]、韩涛^[1]也得出相同结论, 径流量与磷有较好的相关关系, 与磷稳定有关, 在自然界中主要是不溶性的磷酸钙存在。每个研究区关系式和相关系数差别很大, 只能在相似的流域内运用。

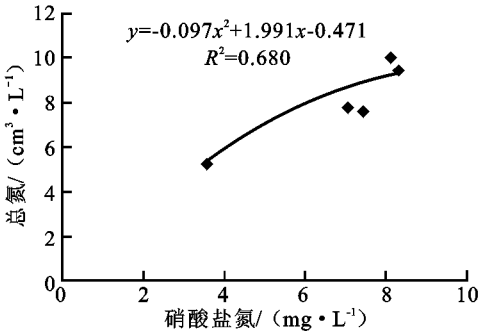


图 3 总氮监测值与硝酸盐氮的关系

3.5 氮磷污染主要来源

降雨径流中氮磷污染源主要是: 一是土壤侵蚀和暴雨径流。降雨径流溶解土壤中的氮磷元素, 在运输和转化过程中, 浓度增大, 引起氮磷含量高于正常的含量, 出现了氮磷富集现象, 径流是引起非点源污染的直接动力。前人研究结果表明^[68], 由于土壤亚表层具有较强的固定元素能力, 土壤渗漏水中的氮磷浓度一般很低, 地表径流的溶解和搬运是流失的主要途径。影响土壤侵蚀量和径流量有地形地貌、植被、土地利用类型、降雨量和降雨强度等因子。其中不同的土地利用方式下产生的径流量、土壤侵蚀量、氮磷的形态有显著差异, 不同的土地利用方式受人干扰也不同, 特别是农地和经济林施用了大量的化肥农药, 研究中的施肥量对氮输出量有显著影响的结论^[9], 中国环境科学研究院的研究表明, 水田对化肥的利用率为 30% ~ 50%, 旱田的利用率 40% ~ 60%, 其余的通过分解、挥发、渗漏、淋溶等途径流失到环境中, 污染水体。根据实际调查, 2006 年土门西沟氮肥、磷肥施用量分别为 5 081.06 kg, 3 222.21 kg。为了提高经济效益, 经济林自然生长的草灌都被除去, 裸露地面比较多, 容易发生水土流失, 而天然次生林人为干扰比较少, 地表凋落物丰富, 表土层有机质比较多, 有利于降雨的下渗和降低地表径流流速。从表 2 看出, 水源林占的比例是 43.87%, 经济林占 48.7%, 梯田占 7.53%。二是未经处理的生活用水中、垃圾、畜禽粪便直接排到水里。根据实际调查, 土门西沟居民 2006 年生活污水中总氮、总磷的产生量分别为 30.34 kg, 3.40 kg。

3.6 防治措施

非点源污染物的传输需借助水文传输过程(地表径流、壤中流、地下水), 方能进入受纳水体, 因此对其有效控制需以汇水单元为基础, 进行源头传输过程和汇水的系统控制^[10]。严格控制化肥的使用, 大力提倡施用农家肥和绿肥, 调整施肥的时间间隔, 确定田间最佳施肥量、采取高效施肥方式, 减少生活污水、垃圾、畜禽粪直接排放, 在源头上有效控制非点源污染。根据美国环保局提出的最佳管理措施(Best Management Practices), 非点源污染的控制首先应尽

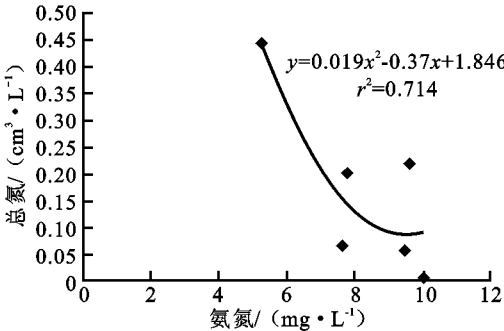


图 4 总氮监测值与氨氮的关系

量将污染物控制在产生源区, 以尽量提高控制效率和减少控制成本, 因为污染物离开源区后, 会大大增加控制难度。

表 2 土地利用类型

名称	面积/ km ²	比例/ %
油松为主水源林	1.13	33.30
刺槐为主水源林	0.35	10.22
侧柏为主水源林	0.01	0.34
板栗为主经济林	1.24	36.58
山杏为主经济林	0.13	3.82
苹果为主经济林	0.10	2.85
桃树为主经济林	0.10	2.81
红果为主经济林	0.09	2.54
梯 田	0.26	7.53
其 它	0.09	2.68

调整土地利用结构, 增加水源林面积, 减少坡面经济林板栗的种植面积, 提高植被的覆盖度, 延长产生地表径流时间, 减小单位面积的径流量, 污染物不会在短时间内出现富集现象。在降雨期减少农事活动, 不要对土地进行剧烈扰动, 造成地表结构破坏, 增加地表径流。目前, 土门西沟小流域内经济林的面积还在不断的扩大, 阳坡林地逐渐被板栗和农作物取代, 阴坡也出现经济林增加的现象, 排水的渠道内都栽种玉米, 只有坡度陡峭的灌木林地没有人为干扰。土门西沟小流域村庄是生态农村建设的示范点, 对垃圾、生活污水、污水、养殖等方面进行科学规划和管理, 村内设置专门的垃圾桶, 对每家每户的厕所进行了统一改造, 养殖业进行圈养, 粪肥都用于农作物的施肥, 村庄污染得到很好的治理。相反流域除村庄外的地区由于缺少很好的监督管理, 土地利用上出现陡坡栽种农作物, 大量板栗林出现广种薄收的现象、总体上水源林面积是逐渐缩小的趋势。

4 结 论

流域内非点源污染主要是总氮和总磷引起的, 总氮的影响最大, 超过Ⅴ类水的标准以上, 总磷在Ⅲ类水标准以内, 其中流域的非点源氮源已成为流域主要因素。总磷与地表径

流量相关性比较好,水中的磷比较稳定。总氮与地表径流量相关性比较差,氨氮是氮源污染的主要形态,而且氨氮容易挥发和转化,建议在以后氮素测定中进一步提高准确度。总氮与氨氮的相关关系比较好,和硝酸盐氮相关系数较小。亚硝酸盐氮含量较少,与总氮关系不明显。

径流量与污染关系非常密切,梁涛也曾官厅水库周边不同土地利用方式下非点源污染研究中得出,径流量大小与沉积物量大小呈明显的正相关性,表明径流量是影响沉积物量的主要因素^[11]。因此防治措施要尽量减少出现地表产生暴雨径流,减少污染在短时间内富集,延长径流中污染的降解和转化过程。为了减少地表暴雨径流,需要调整土地利用结构减小非点源污染。主要通过减少经济林来增加混交林用地面积,提高地表水源林的覆盖率,梯田可以维持现有的用地状况,禁止陡坡栽种农作物,坡脚和沟道农地采取梯田的耕种方式,以此来达到减沙减污的目的。

非点源污染从源头和传输过程进行系统控制。严格控制化肥的使用,大力提倡施用农家肥和绿肥,调整施肥的时间间隔,确定田间最佳施肥量、采取高效施肥方式,对垃圾、生活污水、污水、养殖等方面进行科学规划和管理,减少污染直接排放,在降雨期减少农事活动,有效地控制非点源污染。

参考文献:

[1] 韩涛,李怀恩,李贵宝.渭河临潼断面以上氮污染分析[J].人民黄河,2004,26(12):22-23.
[2] 高超,张桃林.面向环境的土壤磷素测定与表征方法研

究进展[J]. 农业环境保护,2000,19(5):282-285.
[3] 黄俊,张旭,彭炯,等.暴雨径流污染负荷的时空分布与输移特性研究[J]. 农业环境科学学报,2004,23(2):255-258.
[4] 裴青.石家庄市地表水源氮、磷污染分布特征[J]. 地理与地理信息科学,2004,20(3):82-85.
[5] 洪小康,李怀恩.水质水量相关法在非点源污染负荷估算中的应用[J]. 西安理工大学学报,2000,16(4):384-387.
[6] Ryden J C,Syers J K,Harris R F. Phosphorus in runoff and streams [J]. Advance in Agronomy,1973,25:1-45.
[7] Summers R N,Guise N R,Smirk D D. Bauxite residue increases phosphorus retention in sandy soil catchments in Western Australia[J]. Fertilizer Research,1993,34:85-94.
[8] 王晓燕,王晓峰,汪清平.北京密云水库小流域非点源污染负荷估算[J]. 地理科学,2004,24(2):227-232.
[9] 王鹏,高超,姚琪,等.环太湖丘陵地区农田氮素随地表径流输出特征[J]. 农村生态环境,2005,21(2):46-49.
[10] 王夏晖,尹澄清,颜晓,等.流域土壤基质与非点源磷污染物作用的3种模式及其环境意义[J]. 环境科学,2004,25(4):123-129.
[11] 杜桂森,孟繁艳.密云水库水质现状及发展趋势[J]. 环境科学,1999,20(2):35-40.

(上接第93页)

[17] 祝寿泉.我国土壤盐渍化的发生及演变[C]//俞仁培,郭建新,胡祥明.全国盐渍土研究学术研讨会会议论文集:盐渍土资源综合利用与治理.中国土壤学会盐渍土专业委员会,1997:25.
[18] 朱发庆.环境规划[M]. 武汉:武汉大学出版社,1994:85-90,203-210.
[19] Matheron G. The theory of regionalized variables and its applications [M]. Cahiers Du Centre De Morphologie Mathematique,Fontainbleau,1971:56.
[20] 华孟,王坚.土壤物理学[M]. 北京:北京农业大学出版社,1993:214-237.
[21] Alemi M H,Azari A B,Nielsen D R. Kriging and univariate modeling of a spatial correlated data[J]. Soil Technology,1989,1(2):133-147.
[22] 徐吉炎,韦甫斯特.土壤调查数据地域统计的最佳估值研究[J]. 土壤学报,1983,20(4):419-430.
[23] 李哈滨,王政权,王庆成.空间异质性定量研究理论与方法[J]. 应用生态学报,1998,9(6):651-657.
[24] 姚荣江,杨劲松,刘广明,等.黄河三角洲地区典型地块土壤盐分空间变异特征研究[J]. 农业工程学报,2006,22(6):61-66.
[25] 胡克林,余艳,张凤荣,等.北京郊区土壤有机质含量的时空变异及其影响因素[J]. 中国农业科学,2006,39(4):764-771.
[26] 李军,游松财,黄敬峰.中国1961-2000年月平均气温空间插值方法与空间分布[J]. 生态环境,2006,15(1):109-114.
[27] 胡克林,张凤荣,吕贻忠,等.北京市大兴区土壤重金属含量的空间分布特征[J]. 环境科学学报,2004,24(3):463-468.
[28] Cambardella C A,Moorman T B,Novak J M,et al. Field scale variability of soil properties in central low a soils[J]. Soil Sci Soc Am. J.,1994,58:1501-1511.
[29] Zhang S R,Sun B,Zhao Q G,et al. Temporal spatial variability of soil organic carbon stocks in rehabilitating ecosystem[J], Pedosphere,2004,14(4):501-508.
[30] Chien Y J,Lee D,Guo H Y,et al. Geostatistics analysis of soil properties of mid west Taiwan soils[J]. Soil Sci.,1997,162:291-298.
[31] 叶海燕,王永平,王金栋,等.渭干河灌区水盐均衡特征分析[J]. 农业工程学报,2003,19(4):92-96.